

Rancang Bangun Sistem Pencacah Frekuensi Untuk Sensor Gas *Quartz Crystal Microbalance*

Brilianda Adi Wicaksono, Muhammad Rivai, Tasripan
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: muhammad_rivai@ee.its.ac.id

Abstrak—Dalam suatu sistem identifikasi gas menggunakan sensor *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) diperlukan sebuah pencacah frekuensi yang digunakan untuk menghitung perubahan frekuensi dari sensor. Sistem ini digunakan untuk menghasilkan *output* berupa perubahan frekuensi yang akan diproses untuk identifikasi gas. Metode ini menggunakan selisih antara frekuensi sensor QCM dan frekuensi referensi. Hasil dari selisih tersebut dibagi dan digunakan untuk mengaktifkan pencacah frekuensi. Semakin besar bilangan pembagi, maka sistem pencacah frekuensi ini semakin stabil dan akurat. Penelitian ini menggunakan kristal referensi 20MHz dengan pencacah frekuensi 24 bit. Data hasil pencacahan diakuisisi oleh mikrokontroler dan dikirim ke komputer untuk proses identifikasi menggunakan *neural network*. *Output* dari *neural network* ini merupakan hasil dari proses identifikasi gas. Dengan metode yang digunakan, perubahan frekuensi yang dapat dideteksi mencapai 0,068 Hz. Dalam pengujian keseluruhan sistem digunakan 3 bahan uji, yaitu alkohol, amoniak, dan asam asetat (cuka). Untuk sistem identifikasi gas telah dapat mengenali gas uji dengan keberhasilan 90%. Secara keseluruhan, metode ini diharapkan menjadi metode yang baik untuk sistem identifikasi gas.

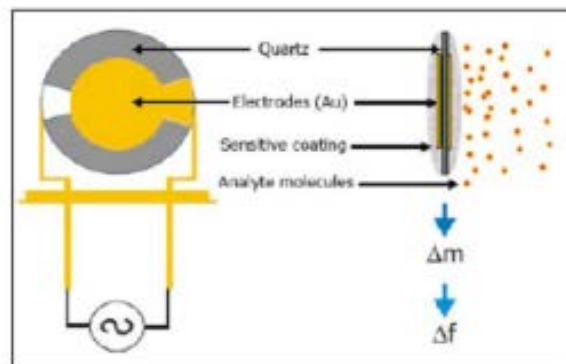
Kata Kunci—Pencacah frekuensi, QCM, *neural network*.

I. PENDAHULUAN

Hidung merupakan alat indera manusia yang menanggapi rangsang berupa bau atau zat kimia berupa gas. Dalam sistem penciuman, hidung dapat dibuat tiruannya dengan menggunakan beberapa sensor gas. Identifikasi gas ini sangat penting untuk industri makanan dan minuman, yaitu untuk mengetahui adanya gas-gas yang berbahaya untuk memonitor atau mengontrol kualitas suatu produk.

Pada metode konvensional, cara yang digunakan adalah dengan menggunakan *counter* konvensional dengan waktu kurang lebih 1 detik untuk dapat menghitung perubahan frekuensi dari sensor.

Metode yang ditawarkan dalam penelitian ini adalah dengan merancang sistem pencacah frekuensi untuk menghitung pergeseran frekuensi yang dihasilkan oleh sensor QCM. Pemasangan sensor secara berderet bertujuan untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan hanya satu sensor. Perancangan pencacah



Gambar. 1. Prinsip QCM.

frekuensi menggunakan metode *reciprocal frequency counter* ini dapat melakukan perhitungan perubahan frekuensi dengan cepat dibandingkan dengan metode konvensional yang membutuhkan waktu 1 detik atau kelipatannya.

II. METODE PENELITIAN

A. Sensor Gas

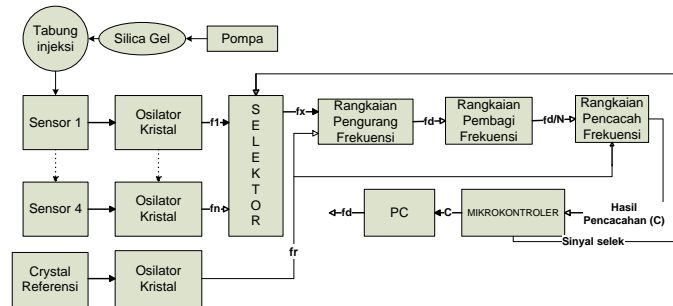
Sensor gas adalah alat yang dapat menghasilkan sinyal listrik sebagai fungsi interaksinya dengan senyawa kimia, dalam hal ini gas atau uap senyawa organik. Sensor gas yang digunakan adalah sensor gas *Quartz Crystal Microbalance* (QCM) yang terbuat dari kristal kuarsa.

Kristal kuarsa ini memiliki sifat *piezo-electric*, yaitu mampu menghasilkan tegangan listrik ketika diberi tekanan mekanik dan dapat berubah bentuk mekaniknya ketika diberikan tegangan listrik. Untuk menghasilkan resonansi listrik mekanik, maka sifat *piezo-electric* dimanfaatkan dengan cara memberikan tegangan listrik pada kristal sehingga kristal bergetar pada frekuensi tertentu[1]. Persamaan *Sauerbrey* menyebutkan bahwa adanya hubungan antara perubahan massa kristal dengan perubahan frekuensi resonansi kristal[2]. Berikut adalah persamaannya:

$$\Delta f = -C_f \cdot \Delta m \quad (1)$$

dimana Δm adalah perubahan massa pada kristal kuarsa akibat menempelnya molekul pada permukaan kristal. C_f merupakan konstanta kristal yang digunakan. Persamaan diatas akan menghasilkan perubahan frekuensi (Δf) yang negatif, dengan kata lain frekuensi kristal akan menurun

Gambaran Umum Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

sebanding dengan banyaknya molekul yang menempel pada permukaan kristal.

B. Sistem Mikrokontroler Atmega 16

ATMega16 merupakan mikrokontroler 8-bit CMOS yang memiliki kemampuan tinggi dengan daya rendah, *clock* mencapai 16Mhz, 32 port I/O, komunikasi USART *full duplex*, operasi *master-slave* dan masih banyak lagi fitur lainnya[3]. Fitur-fitur yang digunakan dari sistem mikrokontroler adalah kaki *input-output* dan komunikasi serial USART untuk mengirim data pada *personal computer*.

Inisialisasi kaki *input-output* pada mikrokontroler digunakan untuk mengakuisisi data dari *counter* dan digunakan untuk memberikan sinyal selek pada multiplexer.

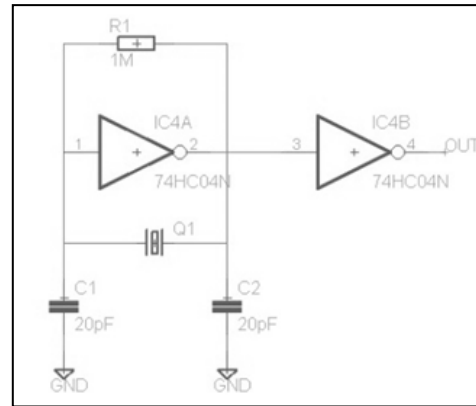
Komunikasi serial USART sudah umum diimplementasikan dengan menggunakan IC max232 dan menghubungkan kaki TX dan RX pada mikrokontroler. Komunikasi ini digunakan untuk mengirim data dari proses penghitungan yang dilakukan oleh *counter*. Proses pengiriman data menggunakan data paket dengan menambahkan 1 *start bit*, 1 *stop bit* dan 1 *flag* untuk menandai data dari sensor ke berapa yang dikirim.

Pada sistem identifikasi gas ini, sensor yang digunakan adalah QCM yang frekuensinya dibangkitkan menggunakan rangkaian osilator kristal. Udara kering yang dilewatkan *silica gel* adalah referensi udara bersih untuk me-nol kan Δf dari sensor. Gas yang diinjeksikan dan didorong untuk melewati sensor akan merubah frekuensi sensor. Deret QCM dipilih bergantian melalui mikrokontroler untuk diproses datanya. Setiap data sensor diolah dengan mengurangi frekuensinya dengan frekuensi referensi. Hasilnya kemudian dibagi untuk mendapatkan Δt sehingga mengaktifkan *counter* untuk memulai penghitungan. Hasil dari penghitungan diakuisisi oleh mikrokontroler ATMega 16 dan dikirimkan ke PC/komputer dengan menambahkan 1 *start bit* untuk tanda pengiriman data dimulai, 1 penanda untuk sensor dan 1 *stop bit* untuk penanda pengiriman data paket selesai dilakukan. Pengiriman data ke PC dilakukan dengan menggunakan komunikasi serial USART.

C. Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* terdiri dari rangkaian osilator, rangkaian pengurang frekuensi, rangkaian pembagi frekuensi dan sistem minimum ATMega 16.

Implementasi identifikasi gas menggunakan sensor QCM dengan sistem pencacah frekuensi untuk menghitung perubahan frekuensi dari sensor. Pola perubahan frekuensinya digunakan untuk mengidentifikasi gas.



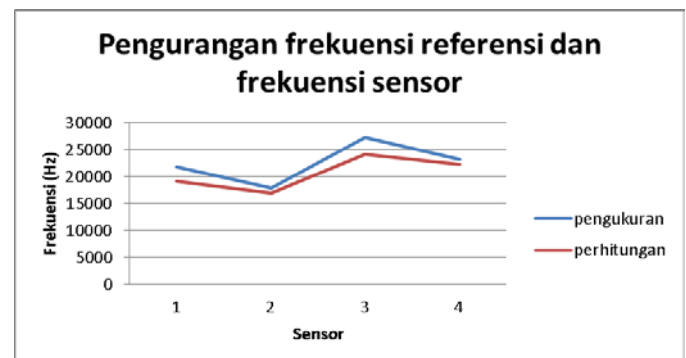
Gambar 3. Rangkaian osilator pierce

Tabel 1.
Hasil Osilator

Nilai Kristal (MHz)	Frekuensi (MHz)	Error ($\frac{0}{100}$)
16	16,0016	0.05
20	19,9981	0.095
16	15,9974	0.1625
20	19,9979	0.105
20	20,0061	0.305

Tabel 2.
Hasil Pengurangan

No	Frekuensi Referensi (Mhz)	Frekuensi Sensor (MHz)	Hasil (Hz)		Error Output (%)
			Pengukuran	Perhitungan	
1	20,0061	20,0253	21,730	19,200	11.64289
2	20,0061	20,0231	17,840	17,000	4.70852
3	20,0061	19,9819	27,230	24,200	11.12743
4	20,0061	20,0284	23,220	22,300	3.962102



Gambar 4. Grafik Hasil Pengurangan Frekuensi

QCM membutuhkan sebuah rangkaian osilator untuk menghasilkan frekuensi osilasi dari kristal di dalamnya. Pada sistem digunakan osilator *pierce* yang memiliki osilasi yang stabil. Nilai C1 dan C2 pada rangkaian osilator *pierce* menentukan besarnya tegangan balik. Osilator juga digunakan untuk membangkitkan frekuensi kristal referensi.

Dari hasil pengujian rangkaian osilator dengan menggunakan kristal *fix* (bukan sensor) didapatkan *error* rata-rata kurang dari 0,2 $\frac{0}{100}$. Pengujian tersebut menyimpulkan bahwa rangkaian osilator dapat bekerja dengan sangat baik.

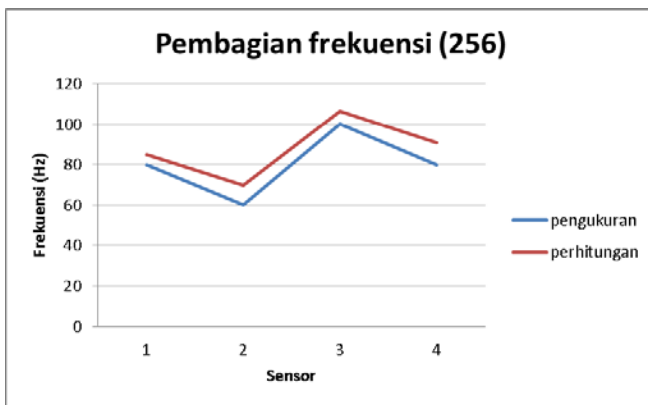
Pengujian rangkaian pengurang dilakukan dengan memasukkan frekuensi referensi dan frekuensi sensor pada D-flip-flop di bagian kaki *input* dan *clk*. Pengurangan dilakukan

Tabel 3.
Error dari rangkaian pembagi frekuensi

Pembagian	Error rata-rata (%)	
	Error pengurangan tidak diabaikan	Error pengurangan diabaikan
2	11.4971198	4.188322595
4	15.08773481	7.996111159
8	11.55000255	4.204063443
16	11.64204121	4.308230109
32	11.63022918	4.279268973
64	12.10228372	4.807779481
128	12.10228372	4.807779481
256	9.359994594	7.565071109

Tabel 4.
Hasil Pembagian

Input (Hz)	Hasil (Hz)		Error (%)
	Pengukuran	Perhitungan	
21730	80	84,8828	6.103516
17840	60	69,6875	16.14583
27230	100	106,3671	6.367188
23220	80	90,7031	13.37891

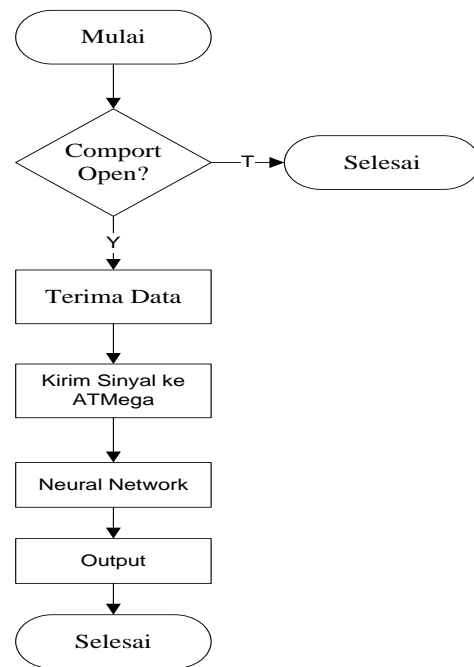


Gambar 5. Grafik Hasil Pembagian Frekuensi

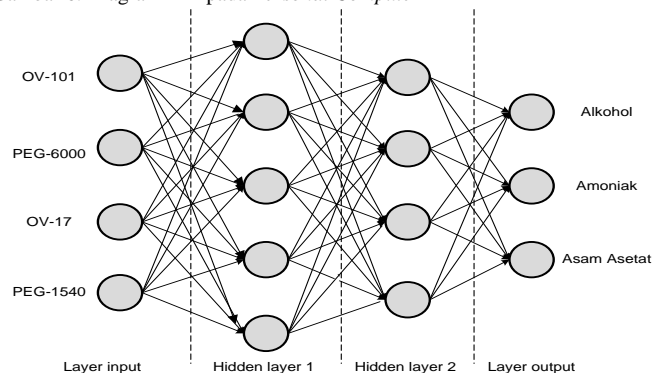
untuk mendapatkan selisih antara frekuensi referensi dan frekuensi sensor. Dari tabel 2 dapat dilihat hasil pengujian dan *error* yang dihasilkan.

Hasil dari pengurangan frekuensi dimasukkan ke dalam rangkaian pembagi frekuensi. Pembagian frekuensi dirancang untuk mendapatkan Δt yang berasal dari periode hasil pembagian frekuensi. Δt digunakan untuk mengaktifkan pencacah frekuensi. Nilai pembagian ini didapatkan melalui percobaan yang berulang dengan memilih nilai pembagi dan melakukan perhitungan frekuensi.

Dari percobaan yang dilakukan, disimpulkan bahwa semakin besar pembagi maka *error* perhitungan semakin kecil dan sistem semakin stabil, namun *error* pembagian semakin besar. Hal ini berbanding terbalik jika dibandingkan dengan perhitungan yang sebenarnya (*error* pengurang diabaikan). Pertimbangan lain untuk pemilihan nilai pembagian adalah waktu yang digunakan untuk perhitungan, semakin besar pembagi semakin lama proses perhitungan yang dilakukan. Berikut adalah nilai pengujian pembagian 256 yang dinilai sudah stabil.



Gambar 6. Diagram Alir pada *Personal Computer*



Gambar 7. Topologi *Neural network*

Dari pengujian yang dilakukan terhadap rangkaian pembagi frekuensi, didapatkan *error* rata-rata sebesar 13%. *Error* tersebut dimungkinkan akibat pergeseran fasa pada rangkaian pembagi frekuensi.

D. Perancangan Software

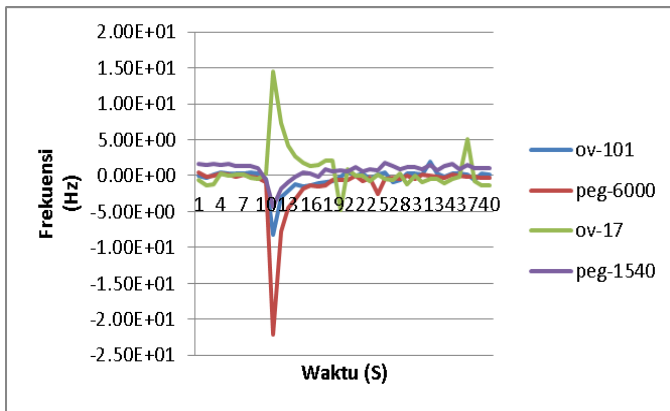
Software yang dirancang ada dua, yaitu *software* yang ada pada mikrokontroler ATmega 16 dan pada *personal computer(PC)*. *Software* pada mikrokontroler dirancang untuk mengakuisisi data dari *counter*, memberikan sinyal selek untuk multiplexer dan pengiriman data ke PC menggunakan komunikasi serial USART.

Sedangkan *Software* pada PC dirancang untuk mengambil data dari mikrokontroler ATmega 16 melalui komunikasi serial menggunakan data paket, mengolah data sehingga dapat mendeteksi perubahan frekuensi dan proses *neural network* untuk identifikasi gas uji.

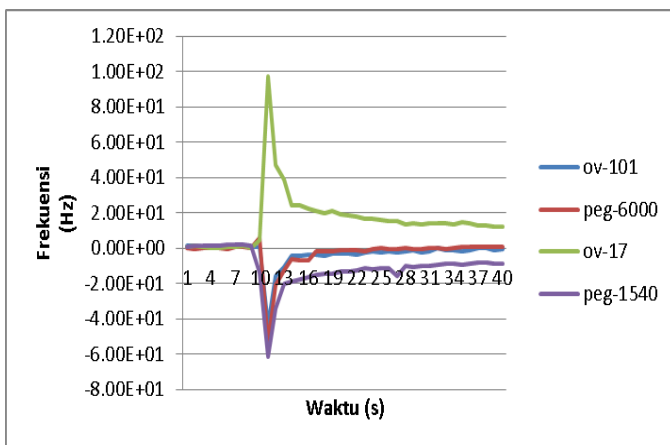
Topologi *neural network* dapat dilihat pada gambar 7. Topologi *neural network* yang digunakan terdiri dari 200 *node input*, 100 *node* pada *hidden layer1* dan 50 *node* pada *hidden layer 2*. Sedangkan pada *layer output* digunakan 3 *node* untuk pengidentifikasian gas uji.

III. PENGUJIAN

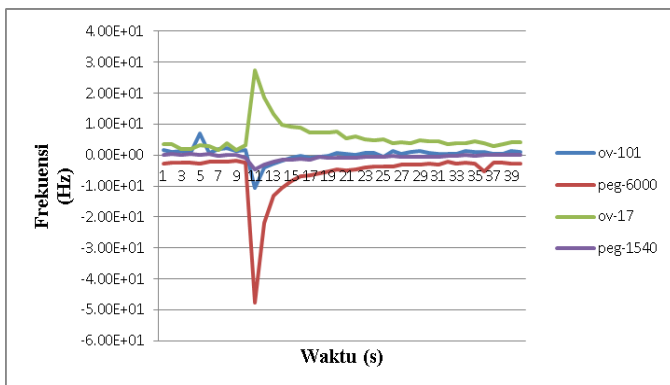
A. Pengujian Keseluruhan Sistem



Gambar 7. Pola perubahan frekuensi sensor terhadap alkohol



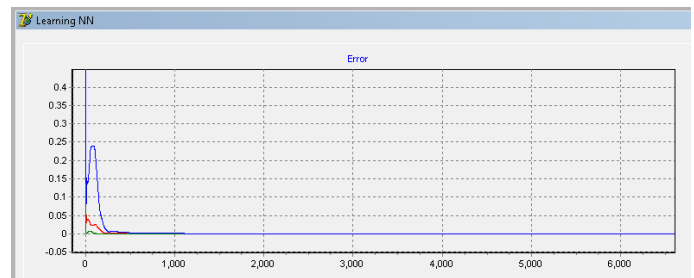
Gambar 8. Pola perubahan frekuensi sensor terhadap amoniak



Gambar 9. Pola perubahan frekuensi sensor terhadap asam asetat

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sensor QCM berderet yang dilapisi polimer dengan polaritas yang berbeda berdasarkan ketetapan McReynold nya, yaitu OV-101, OV-17, PEG-6000 dan PEG-1540[5]. Ketiga grafik diatas merupakan pola perubahan frekuensi sensor terhadap gas uji yaitu alkohol, amoniak dan asam asetat.

Pada alkohol perubahan frekuensi sensor lebih rendah dibandingkan dengan gas uji yang lainnya. Hal ini dapat disebabkan karena alkohol memiliki aroma yang tidak menyengat. Berbeda dengan amoniak dan asam asetat yang



Gambar 10. Error Pada Proses Pelatihan Data

Tabel 5.
Hasil Pengujian

Error pada gas-	Nilai Error
Alkohol 70%	$4,32 \times 10^{-5}$
Amoniak	$6,23 \times 10^{-10}$
Asam asetat	$9,99 \times 10^{-5}$

B. Proses Identifikasi

Tabel 6.
Hasil Pengujian

Uji ke -	Gas uji	Hasil Identifikasi
1	Amoniak	Amoniak
2	Amoniak	Amoniak
3	Alkohol	Alkohol
4	Alkohol	Alkohol
5	Asam asetat	Amoniak
6	Asam asetat	Asam asetat
7	Amoniak	Amoniak
8	Amoniak	Amoniak
9	Asam asetat	Amoniak
10	Asam asetat	Asam asetat
11	Alkohol	Alkohol
12	Alkohol	Alkohol
13	Alkohol	Alkohol
14	Asam asetat	Asam asetat
15	Asam asetat	Asam asetat
16	Asam asetat	Asam asetat
17	Amoniak	Amoniak
18	Amoniak	Amoniak
19	Alkohol	Alkohol
20	Alkohol	Alkohol
21	Amoniak	Amoniak
22	Amoniak	Amoniak
23	Amoniak	Amoniak
24	Alkohol	Alkohol
25	Alkohol	Alkohol
26	Amoniak	Amoniak
27	Asam asetat	Amoniak
28	Asam asetat	Asam asetat
29	Alkohol	Alkohol
30	Asam asetat	Asam asetat

memiliki aroma yang sangat menyengat. Hasil tersebut juga dimungkinkan akibat selektivitas dari sensor terhadap gas uji.

Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan sampel dari masing-masing sensor. Ketiga pengujian mendapatkan pola yang sama untuk masing-masing gas uji. Sampel yang telah didapatkan digunakan untuk melakukan

pembelajaran pada *neural network* yang telah didesain sebelumnya.

[6] Gurney, K., "Neural Nets by Kevin Gurney" <URL: <http://www.shef.ac.uk/psychology/gurney/notes/index.html>>, 1999.

C. *Neural network*

Menurut Kevin Gurney, sebuah *neural network* adalah pertemuan yang saling berhubungan dari elemen pemrosesan sederhana, unit atau *node*, yang fungsi secara bebas didasarkan pada neuron hewan. Pengolahan dari kemampuan jaringan disimpan dalam antar-satuan sambungan, atau bobot, diperoleh dengan proses adaptasi atau belajar dari satu set pelatihan pola[6].

Pada gambar 10 dapat dilihat grafik *error* pada saat pelatihan data. Grafik berwarna merah menunjukkan *error* pada alkohol, grafik berwarna hijau menunjukkan *error* pada amoniak grafik berwarna biru menunjukkan *error* pada asam asetat.

Dari proses pelatihan yang telah dilakukan, nilai bobot dan nilai ambang didapatkan ketika *error* dari masing masing gas uji sudah memenuhi syarat yang ditentukan. Dari tabel 5 dapat dilihat *error* yang didapatkan setelah melakukan pembelajaran.

Pada hasil pengujian di tabel 6, proses identifikasi bahan uji alkohol dan amoniak memiliki tingkat keberhasilan sebesar 100%, sedangkan pada bahan uji asam asetat sebesar 70%. Secara keseluruhan, tingkat keberhasilan identifikasi gas uji pada sistem yang telah dirancang mencapai 90%.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan dan pengujian alat pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sistem yang dirancang telah mampu mendeteksi perubahan frekuensi sensor terhadap gas uji.

Kesalahan yang didapatkan dari rangkaian pengurang dan pembagi frekuensi dimungkinkan karena pergeseran *phase* dari hasil *flip-flop*.

Sistem yang diintegrasikan dengan *neural network* juga telah mampu mengenali gas uji yaitu alkohol, amoniak dan asam asetat. Tingkat keberhasilan sistem dalam 30 kali percobaan secara acak terhadap gas uji mencapai 90%. Parameter dalam pengujian keseluruhan sistem adalah suhu, kelembaban ruangan dan kecepatan penetrasi gas ke dalam sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saldiri Doni, (2009), "Mengenal Komponen Dasar Kristal", Majalah Elektronika Online
- [2] Jic Han, 2006. "Technical Background, applications and implementation of quartz crystal microbalance systems". University of Jyväskylä Departement of Physics. Saleha Bano, Dr. Talat Altaf, and Sunila Akbar, "Microcontrolled Based Spectrophotometer using compact disc as diffraction grid", IEEE, 2010
- [3] Adrianto Heri, "Pemrograman Mikrokontroler AVR ATMEGA16 Menggunakan Bahasa C (CodeVisionAVR)" Informatika Bandung. Bab 1, 2008.
- [4] Ogawa Shigeki, Seyama Michiko, Kuwano Hiroki. 2010 "Detecting Frequency of Quartz Crystal Microbalance Sensor with High Resolution" IEEE Transactions on Sensors and Micromachines, Volume 130, Issue 9, pp. 431-436.
- [5] Rivai, M., Juwono, H., dan Mujiono T., 2008. "prototype sistem penciuman elektronik menggunakan deret Kristal SiO₂ terlapis polimer dan *Neural network*". ITS-research.